

1. Панов В.С., Шевченко О.А., Проскурня Ю.А., Матлак Е.С., Дудик А.М. К геоэкологии Донбасса // Проблемы экологии. – 1999. – №1. – С. 17-25.
2. Дударенко А.Е. // Труды региональной научно-практической конференции, посвященной всемирному дню водных ресурсов. 22 марта 2001 г. – Донецк. 2001.
3. ГОСТ 2874-82 "Вода питьевая".
4. ДержСанПиН Украины "Вода питна". – К., 1997.
5. Матлак Е.С., Аверин Г.В., Момот А.И., Беляева Е.Л., Чумак А.В. О доочистке украинской водопроводной воды // Проблемы экологии. – 1999. – №1. – С. 36-43.

Получено 27.09.2002

УДК 628.16.067

П.А.ГРАБОВСКИЙ, д-р техн. наук, **А.И.ГОРОБЧЕНКО**

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ

Рассмотрены основные проблемы, возникающие при решении вопроса оптимизации режимов управления работой скорых фильтров. Предложены пути решения поставленных задач. Представлена математическая модель работы скорого фильтра, позволяющая обрабатывать текущую оперативную информацию по работе фильтра. Продемонстрированы возможности математической модели на примере решения конкретно поставленных задач.

Задачу эксплуатации скорых водоочистных фильтров можно сформулировать следующим образом – обеспечение подачи заданного количества воды при ее качестве не ниже допустимого, регламентируемого нормами (ГОСТ, СанПиН и т.п.). Эти задачи должны быть решены так, чтобы эксплуатационные затраты были минимальными.

Согласно исследованиям ряда водопроводных станций и анкетного опроса, проведенного в работе [1], было выявлено, что большая часть водопроводов крупных городов России и Украины эксплуатирует фильтры с переменной скоростью. Аналогичная ситуация и в большинстве других зарубежных стран. Тем не менее, режим работы скорых фильтров с переменной скоростью фильтрования изучен недостаточно, поэтому вопрос управления и оптимизации работы таких фильтров в настоящее время вполне актуален.

Основными управляющими параметрами процесса фильтрования являются продолжительность фильтроцикла (T) и продолжительность промывки (t). Остальные параметры, которыми можно управлять, как правило, заданы. Как показывает анализ, оптимизацию продолжительности фильтроцикла и продолжительности промывки следует проводить одновременно, поскольку промывка сильно влияет на процесс фильтрования.

В настоящее время продолжительность фильтроцикла и длительность промывки фильтра назначают, исходя из опыта эксплуатации или интуитивно. При этом, естественно, нет гарантии, что назначенные параметры близки к оптимальным.

В качестве альтернативного варианта для поиска оптимальных режимов работы можно использовать экспресс-информацию, получаемую от приборов, установленных на эксплуатируемом фильтре. Информация от этих приборов может использоваться без предварительной обработки и поступать в виде графиков, сигналов или соответствующих показаний приборов непосредственно на пульт оператора. Однако более рациональным подходом является предварительная обработка и анализ получаемой информации при помощи ЭВМ. В этом случае на пульт оператора поступает обработанная информация в виде сведений о необходимых действиях и возникших или предполагаемых аварийных ситуациях. Использование подобной схемы снижает вероятность принятия неверных решений оператором, что ведет к повышению надежности работы сооружений и снижению эксплуатационных затрат.

Для реализации вышеописанного способа управления работой скорого фильтра была разработана математическая модель работы скорого фильтра, позволяющая обрабатывать и анализировать оперативную информацию, а также прогнозировать изменения в работе фильтра под воздействием различных факторов (изменение качества исходной воды, нагрузки на фильтр и т.д.). За основу математической модели взяты теоретические выкладки из работ [1-4]. Алгоритм управления работой фильтра представлен в виде блок-схемы (рис.1).

С помощью математической модели были проведены следующие численные эксперименты:

1. Исследование влияния продолжительности промывки загрузки на рост остаточных загрязнений и производительность фильтра.

2. Влияние колебаний уровней воды в фильтре, возникающих при промывке соседних фильтров.

В ходе численного эксперимента было выполнено сравнение динамики изменения остаточных загрязнений в загрузке в зависимости от числа циклов и эффекта промывки загрузки, полученных в работе [2], и результатов, полученных математическим моделированием. Остаточные загрязнения в зависимости от числа циклов промывки n определяются соотношением:

$$G_0 / \rho = \frac{a(1 - a^n)}{1 - a}, \quad (1)$$

где G_0 – остаточные загрязнения, кг/м^3 ; ρ – масса загрязнений в начале промывки, кг/м^3 ; $a=1-\mathcal{E}$ – степень недомывки загрузки; \mathcal{E} – эффект промывки; n – число циклов.

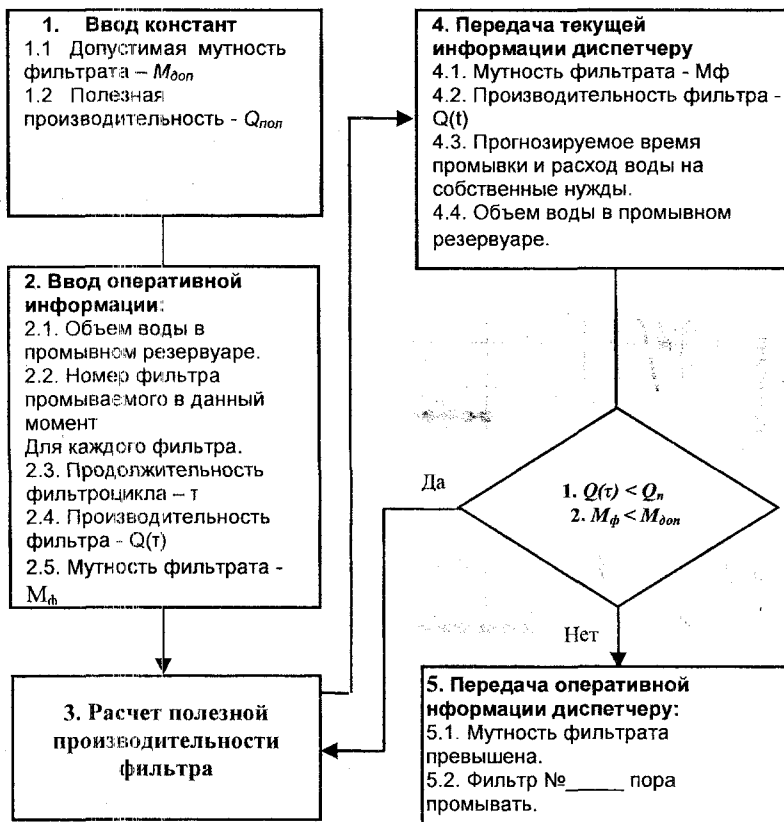


Рис.1 – Блок-схема алгоритма управления работой фильтров

При сокращении продолжительности промывки до определенного значения, и, следовательно, при увеличении параметра a наблюдается интенсивный рост остаточных загрязнений (участок А-В, рис.2). Рост загрязнений продолжается, пока они не будут соответствовать степени продолжительности промывки (участок В-С, рис.2).

На рис.3 показана динамика стабилизации остаточных загрязнений при ступенчатом уменьшении продолжительности промывки, что

соответствует росту параметра (a), полученная при помощи математической модели, описанной в работе [5]. При расчетах случайным образом варьировалась продолжительность промывки ($t_{пром}$), затем «проводилось» несколько фильтроциклов до стабилизации остаточных загрязнений (горизонтальные участки на кривой $Go(n)$).

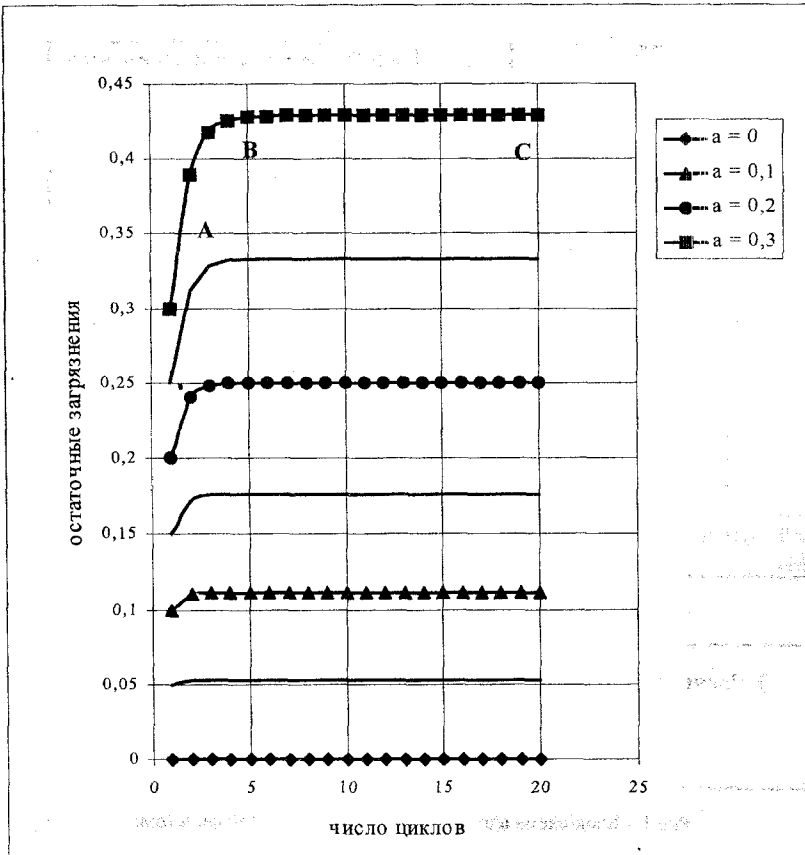


Рис.2 – Стабилизация остаточных загрязнений

Здесь видно, что, как и на рис.2, стабилизация Go происходит достаточно быстро. При этом установлено, что существует некоторая критическая продолжительность промывки, при которой стабилизация остаточных загрязнений вообще не происходит (рис.3, участок Д-Е).

Таким образом, в обычных условиях рост остаточных загрязнений достаточно быстро (на 4-5 цикле) стабилизируется (рис.2, 3).

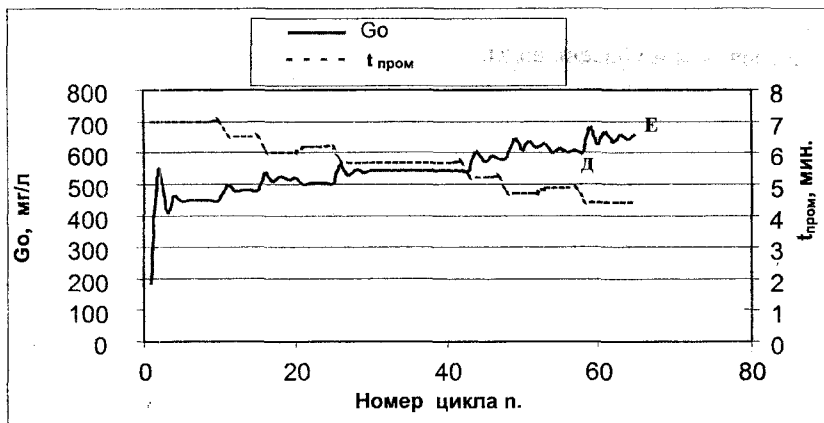


Рис.3 — Стабилизация остаточных загрязнений согласно математической модели [5]

Вторая задача — изучение влияния колебаний уровней воды в фильтре, вызванных промывкой соседних фильтров (рассматривалась работа блока фильтров). Влияние соседних фильтров на работу рассматриваемого фильтра заключается в следующем:

1. При промывке одного из N фильтров блока давление в подающем коллекторе скачкообразно повышается, а в случае наличия накопительных емкостей перед блоком фильтра (отстойники, осветлители) — повышается плавно, по мере увеличения уровня воды в них. В результате растет подача воды в фильтры, оставшиеся в работе и, в том числе, в рассматриваемый фильтр. Это приводит к увеличению уровня воды в «нашем» фильтре и повышению скорости фильтрования. Постепенно уровень воды в фильтре, подача воды и скорость фильтрования (отвод воды) стабилизируются. Такая стабилизация может и не произойти, если времени для этого недостаточно. Дело в том, что продолжительность периода повышенного давления в питающем коллекторе невелика — она равна продолжительности простоя фильтра в связи с промывкой — $t_{np} = 0,33 - 0,5$ ч.

2. После окончания промывки давление в системе подачи воды (пьезометрический напор в коллекторе, либо уровень в питающих емкостях) падает, скачком или постепенно (при наличии емкостей) восстанавливается к первоначальному значению. Подача воды в фильтры снижается, уровень в них уменьшается, падает и скорость фильтрова-

ния. Постепенно уровень и скорости подачи воды в фильтры и фильтрования стабилизируются.

Таким образом, фильтры периодически испытывают влияние соседних фильтров, из-за чего меняется подача воды в них, скорость фильтрования и уровень воды. Частота этих воздействий определяется числом фильтров в блоке и продолжительностью фильтрования T . Интервал между промывками фильтров в блоке равен

$$t_u = T/N, \quad (2)$$

а число таких воздействий за время T составит

$$m = T / (t_u + t_{np}). \quad (3)$$

При 6 фильтрах в блоке, продолжительности фильтрования $T=16$ ч и времени простоя $t_{np}=0,5$ ч интервал между промывками $t_u=2,67$ ч, а число воздействий — $m=5$. При увеличении числа фильтров в блоке интервал между промывками t_u сокращается, но число возмущений за цикл растет. Чем меньше фильтров в блоке, тем сильнее будет воздействие остановки одного из них на работу остальных. Расход подаваемой воды при этом возрастает в $N/(N-1)$ раз. При 10 фильтрах увеличение расхода составит 11%, а при 6 фильтрах — 20%. Следует отметить, что все эти возмущения происходят на фоне стационарных процессов — накопления загрязнений в поровом пространстве, роста сопротивления загрузки и снижения скорости фильтрования. Влияние описанных возмущений на процесс фильтрования не изучено ни теоретически, ни экспериментально. Можно лишь предположить, исходя из современных теорий фильтрования, что скачки скорости фильтрования могут отрицательно сказываться на качестве фильтрата. При скачке скорости возрастают касательные напряжения на поверхности зерен загрузки, а это приводит к срыву части уже задержанных загрязнений и переносу их по ходу движения фильтрующего потока. Продолжительность времени защитного действия загрузки в результате может сократиться. Возможны здесь и периодические проскоки повышенной мутности в фильтрат.

Схема фильтра представлена на рис.4.

Обозначения, принятые на рис.4: отметки воды в коллекторах сырой воды и фильтрата — Z_1, Z_2 ; отметка воды в фильтре в начальный момент времени — H_0 (эта отметка может быть принята равной отметке кромки желобов); сопротивление подающей и отводящей систем — S_1 и S_2 (определяются расчетом или натурными замерами).

Результаты численных экспериментов представлены на рис.5. Здесь видны значительные скачки всех отметок и скоростей подачи воды в фильтр и фильтрования.

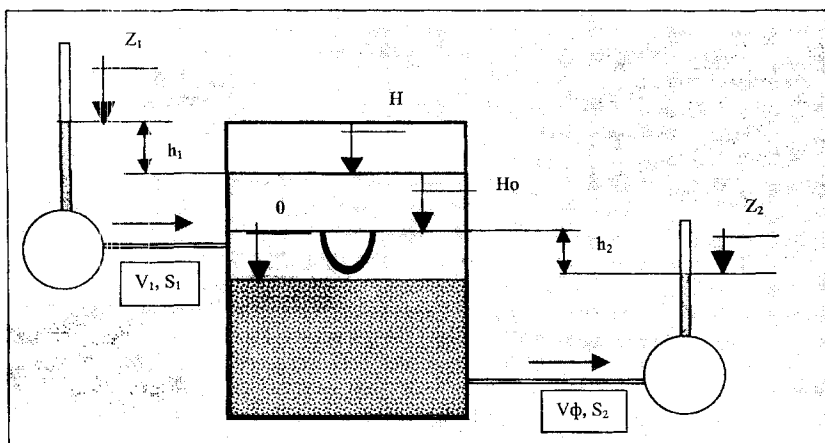


Рис.4 – Схема фильтра, работающего в блоке – питание из коллектора

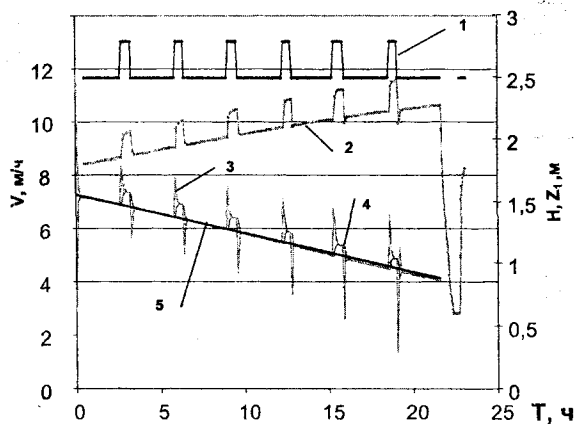


Рис.5 – Динамика работы фильтра с учетом влияния соседних фильтров:

1 – отметки в подающем коллекторе; 2 – уровень воды в фильтре; 3 – скорость подачи воды в фильтр; 4 – скорость фильтрации; 5 – скорость фильтрации без учета колебаний давления в подающем коллекторе.

Было обнаружено, что со временем пики скоростей подачи воды в фильтр растут (рис.5, график 3). Объяснить это можно тем, что со временем увеличивается сопротивление пористой загрузки из-за задержанных загрязнений. В результате уровень воды в фильтре падает

медленнее, перепад уровней в коллекторе и в фильтре снижается, что и приводит к падению V_1 – скорости подачи воды в фильтр.

Завершающая часть кривой 2 на рис.5 соответствует численному моделированию процесса промывки рассматриваемого фильтра. Здесь вначале уровень воды падает (идет «сработка» уровня фильтрованием), затем, после окончания промывки, уровень быстро повышается. Все это вполне соответствует физическим представлениям о процессе.

Для сравнения при тех же исходных данных были проведены расчеты динамики работы фильтра, но с постоянным напором на входе, т.е. в этом случае влияние соседних фильтров исключено. Анализ результатов расчетов производился путем сопоставления уравнений линейных трендов и коэффициентов корреляции для этих двух случаев (таблица).

Режим работы	Уравнение линии тренда	Коэффициент корреляции (R^2)
Влияние соседних фильтров	$V_{\phi} = -0,1482T + 7,2588$	0,8668
Постоянный напор на входе	$V_{\phi} = -0,1449T + 7,2444$	0,9996

Как следует из таблицы, полученные уравнения имеют очень близкие значения коэффициентов, что подтверждается и графическим построением. Значение же R^2 при учете влияния соседних фильтров оказалось существенно меньшим, чем в варианте с постоянным входным напором, что физически вполне объяснимо – ведь в первом случае происходят частые колебания скорости фильтрования. Таким образом, последующие расчеты работы фильтров можно проводить, не учитывая колебаний напора во входном коллекторе, связанных с промывкой соседних фильтров.

1. Грабовский П.А., Ларкина Г.М. Работа скорых фильтров в переменных режимах // Химия и технология воды. – 1984. – 6, № 6. – С. 546-551.

2. Грабовский П.А. Математическая модель регенерации скорых фильтров // Химия и технология воды. – 1985. – 7, №1. С.27-29

3. Аэров М.Э., Толес О.М., Наринский Д.А. Аппараты со стационарным зернистым слоем. – Л.: Химия, 1979. – 46 с.

4. Басс Г.М., Грабовский П.А., Ларкина Г.М. Определение оптимальной продолжительности работы скорых фильтров с уменьшающейся производительностью. – Новосибирск, 1975. – 20 с. – Рукопись депонир. в ЦИНИС, 28.05.75, № 234.

5. Грабовский П.А., Горобченко А. И. Постановка задачи оптимального управления работой скорых водоочистных фильтров // Тезисы докладов V международного конгресса «Вода: экология и технология» - Экватэк-2002. – М: 2002. – С. 344.

Получено 17.09.2002